家禽肠道健康评价指标研究进展

孙永波　王　亚　萨仁娜*　张宏福

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：肠道是家禽消化和吸收营养物质的重要器官，同时也是机体防御的重要屏障。肠道多种屏障有机地结合在一起，共同抵御致病菌等有害物质的侵袭，保护动物肠道及机体健康。禽舍内温度、氨气等环境因子以及营养水平和营养物质等都会影响肠道健康。因此，了解并保障家禽肠道健康状况十分必要。本文主要通过总结和分析了肠道健康的评价指标，为深入研究家禽肠道健康进而防治肠道疾病、促进家禽健康生长提供理论依据。

关键词：家禽；肠道；评价指标

中图分类号：S811.2　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

肠道通过其特殊的结构将肠道内各种物质与动物机体的内环境分开，在有效地消化、吸收营养物质的同时又能阻止肠腔内有害物质的侵袭[1-2]；肠道黏膜各屏障之间通过各种复杂的调控机制以及信号通路形成防御屏障，共同对抗有害物质如细菌、病毒等对机体的侵袭[3]。通过黏膜屏障，肠道能有效地阻止肠腔内细菌和内毒素等有害物质进入家禽机体组织或血液循环，保护家禽健康生长。但是，在外界不利因素条件下（如热应激、有害气体刺激、营养素缺乏等），肠道内微生物、内毒素等突破肠道屏障，导致肠道黏膜病变、消化酶活性降低以及微生物菌群紊乱等，严重危害动物健康和生产性能，带来严重的经济损失[4-6]。

肠道健康决定了动物的整体机能和生产力水平，改善肠道结构与功能对健康养殖的发展具有重要意义。肠道健康主要涉及到肠道组织形态、肠道通透性、肠道免疫功能和肠道微生物等多方面。目前，关于肠道健康的研究主要集中在肠道黏膜屏障的结构和功能，而对家禽

收稿日期：2017-06-17

基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0500509）；现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-42)；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）

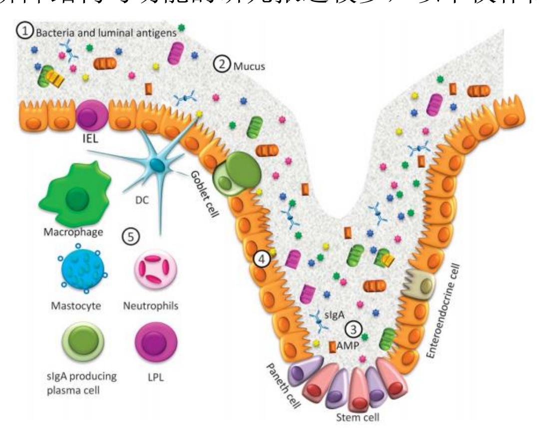
作者简介：孙永波（1991-），男，山东广饶人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: ybsun2014@163.com

*通信作者：萨仁娜，副研究员，硕士生导师，E-mail: sa6289@126.com

肠道健康评价体系的研究报道不足。家禽肠道健康评价不仅能够了解家禽肠道健康状况，还能够通过肠道健康状况来评价环境应激以及饲粮营养素或添加剂的功效。本文主要阐述家禽肠道健康的评价指标，旨在为评价肠道状况、改善肠道健康提供一定的理论依据。

1 家禽肠道黏膜屏障概述

肠道健康对于动物的健康生长至关重要。肠道黏膜作为家禽机体的重要黏膜系统，其形态结构及其功能的完整性，是维护肠道健康的有效屏障（图 1）[7-8]。家禽的肠道屏障主要包括机械屏障、化学屏障、微生物屏障和免疫屏障，各屏障之间相互作用，共同维护家禽肠道健康[3]。有关肠道黏膜屏障结构与功能的研究报道较多，以下仅作简要概述。



①Bacteria and luminal antigens: 细菌和肠腔抗原；②Mucus：黏蛋白；③AMP 抗菌肽 antimicrobial peptide；sIgA：分泌型免疫球蛋白 A secretory immunoglobulin A；④上皮细胞 epithelium （IEL：上皮内淋巴细胞 intraepithelial lymphocyte；Goblet cell：杯状细胞；Panrth cell：潘氏细胞；Stem cell：干细胞；Enteroendocrine cell：内分泌细胞）；⑤黏膜免疫系统 mucosal immune system （DC：树突细胞 dendritic cells；Macrophage：巨噬细胞；Mastocyte：肥大细胞；Neutrophils：中性粒细胞；sIgA producing plasma cells：分泌 sIgA 浆细胞；LPL：固有层淋巴细胞 lamina propria lymphocytes）。

图 1 黏膜屏障功能组成

Fig.1 Elements of mucosal barrier functions[7]

1.1 机械屏障

家禽肠道黏膜上皮细胞以及细胞间的紧密连接构成肠道黏膜的机械屏障，是构成肠道黏膜屏障的结构基础[3,9]。家禽肠道细胞主要包括吸收细胞、杯状细胞、柱状上皮细胞和未分化细胞等，细胞之间通过紧密连接、黏附连接和缝隙连接来维持上皮细胞的正常结构和功能[3,10]。紧密连接主要位于相邻细胞间连接的最顶部，是细胞间最基本、最常见的组织结构形

式，通过封闭相邻细胞间的缝隙，阻止肠道内致病菌等外来有害物质渗入机体组织，保证动物内环境的相对稳定[11]；黏附连接起着细胞与细胞之间的黏附和细胞内信号传递的作用[12]；缝隙连接是细胞之间进行物质及信息交换的通道，对细胞增殖、分化及机体的生长发育至关重要[3]。

1.2　化学屏障

家禽肠道黏膜的化学屏障由肠道表面液体组成，主要包括黏膜下腺体和上皮细胞分泌的黏液、消化液以及肠道菌群产生的抑菌物质等，如胃酸、消化酶、黏蛋白、胆汁、防御素、溶菌酶、抗菌肽等多种化学组分，能够稀释毒素，抑制细菌在肠道上皮的黏附和定植，破坏细菌的细胞壁，消灭入侵的病原菌，维护肠道健康[3,13]。

1.3　微生物屏障

肠道微生物之间以及微生物和宿主之间形成动物机体稳定的微生态环境，是肠道抵御病原菌感染的微生物屏障。肠道固有菌群有助于宿主体内的食物代谢和营养吸收，同时还参与黏膜免疫稳态的维持以及外源病原体的抵抗和清除，通过竞争机体肠道黏膜上的黏附、分泌抗菌物质、增加黏液分泌来抑制致病菌的定植和生长，在发挥局部免疫功能和抵御外籍菌入侵方面具有重要的作用[14-15]。

1.4　免疫屏障

肠道是动物体内最大的免疫器官，肠道黏膜免疫系统主要包括肠黏膜相关淋巴组织和弥散性淋巴组织，其中黏膜相关淋巴组织是免疫应答的传入淋巴区，是免疫应答的诱导和活化部位，主要包括上皮内淋巴细胞(IEL)和固有层淋巴细胞(LPL)；弥散淋巴组织则是免疫应答的传出淋巴区，是肠黏膜免疫的效应部位[16]。IEL 主要是 $CD8^+$细胞，可分泌白细胞介素-2（IL-2）、干扰素-γ（IFN-γ）等多种细胞因子，缓解肠道炎症损伤；LPL 主要有 B 淋巴细胞、浆细胞、T 淋巴细胞、巨噬细胞、嗜酸性粒细胞和肥大细胞，分布在血管和淋巴管丰富的结缔组织中[17-18]。肠道淋巴小结相关上皮细胞(microfold cell，M 细胞)、树突状细胞、巨噬细胞等肠黏膜免疫细胞通过识别、加工、提呈抗原，诱发免疫反应，提高肠道的免疫屏障功能。肠黏膜表面的免疫球蛋白主要是分泌型免疫球蛋白 A（sIgA），sIgA 与细菌上的特异性抗原结合，形成抗原抗体复合物并刺激肠道黏液的分泌加速黏液在黏膜表面的移动，阻止病原体在肠黏膜表面的黏附，对肠黏膜起保护作用[19]。

2 肠道健康评价指标

2.1 肠道黏膜组织结构

肠道黏膜组织结构的完整性是营养物质消化吸收和家禽健康生长的基本保证，同时也是肠道一切生理功能正常发挥的基础。肠道形态、绒毛高度（villus height）、隐窝深度（crypt depth）、绒毛高度与隐窝深度比（V/C）、肠道细胞等指标常用来评价肠道的生长发育状况。肠道黏膜组织学观察是评价家禽肠道黏膜最常用的方法，通过对肠道组织固定、切片和染色等制成组织切片，经光学显微镜、扫描电镜、透视电镜等观察肠道黏膜状态，能够较准确地了解肠道黏膜形态结构的变化情况[20]。宁章勇等[21]通过对热应激条件下的肉鸡肠道制作苏木精-伊红（HE）染色切片，观察到小肠绒毛组织水肿和断裂。肠道绒毛高度变大会增加小肠的吸收面积，使营养物质得到充分吸收和利用；隐窝深度反映肠道黏膜细胞的增殖率和成熟度，隐窝深度变浅表明肠道上皮细胞增殖率加快，吸收功能增强[22]；绒毛高度与隐窝深度比能够综合反映肠道的功能，比值下降，表明消化吸收功能降低。Gottardo 等[23]研究报道，饲粮中添加谷氨酰胺、精氨酸和苏氨酸显著提高肉鸡肠道绒毛高度和隐窝深度比，增强肠道细胞更新能力。Samanya 等[24]研究表明，饲粮添加 0.5%的纳豆枯草芽孢杆菌，肉鸡小肠黏膜绒毛加长，黏膜隐窝加深，小肠吸收面积增大。Choi 等[25]研究报道，添加人工合成抗菌肽（AMP-3）能够提高肉鸡小肠绒毛高度和绒毛高度与隐窝深度比。以上研究表明，肠道黏膜组织结构可以用来评价肠道健康状况。

2.2 肠道通透性

肠道具有一定的通透性，在消化吸收各种小分子营养物质的同时，可以阻止肠道内病原微生物和一些大分子物质等通过肠壁进入血液循环系统[26]。肠道通透性评价常用方法主要有分子探针法、乳果糖/甘露醇比值法、二胺氧化酶法、体外尤斯灌流室法、血清 *D*-乳酸法和内毒素法等。但是探针法、乳果糖/甘露醇比值法、二胺氧化酶法这些方法并不适用于家禽肠道通透性的研究，这是由于分子探针法需要检测尿中的分子探针含量，乳果糖/甘露醇比值法需要测定尿液中浓度比值，而家禽粪尿无法分离，此外家禽肠黏膜中二胺氧化酶活性低，因而二胺氧化酶法也不能用来评测家禽肠道屏障功能[3]。

家禽肠道通透性评价方法主要有体外尤斯灌流室法、血清 *D*-乳酸法和内毒素法等。通过尤斯灌流系统测定肠道上皮细胞间电阻和肠道的大分子的通过率，被广泛应用于评估肠道

通透性[27-28]。如 Albin 等[29]通过尤斯灌流系统研究了胃肠道上皮细胞对氨基酸的转运。*D*-乳酸是由肠道固有细菌产生，血中的 *D*-乳酸基本上来源于肠道，当肠道屏障功能受损，肠道细菌产生大量的 *D*-乳酸，通过受损的肠黏膜进入血液循环，使血液中 *D*-乳酸含量升高。内毒素是革兰氏阴性细菌细胞壁中释放出来的脂多糖成分，当肠道受损通透性加大时，内毒素会通过肠黏膜进入血液循环，导致血清中内毒素含量的上升，因此，血清内毒素含量能够间接反映肠道黏膜屏障通透性[30-31]。此外紧密连接是维持肠黏膜屏障的重要结构基础，是决定细胞间通透性的主要因素。肠道紧密连接蛋白主要包括闭锁蛋白（Occludin）、闭合蛋白（Claudins）、闭合小环蛋白（ZO-1、ZO-2、ZO-3），可以通过利用免疫组化法、实时荧光定量 PCR 和蛋白质免疫印迹（Western blot）方法检测肠道黏膜紧密连接蛋白的分布与表达情况，间接反映肠道通透性。Zhang 等[32]研究报道，饲粮中添加锌显著降低肉鸡血清内毒素含量，提高回肠 Occludin 和 Claudin-1 mRNA 表达量，改善肠道健康。

此外，家禽肠道受到各种环境和营养的刺激，导致肠道黏膜损伤、通透性加强，细菌等有害物质通过肠黏膜进入血液循环以及组织器官，细菌发生移位[33]。外周血或组织器官中细菌含量可间接推断肠黏膜屏障的破坏。检测肠道细菌移位常用的方法有标记细菌示踪法、细菌培养法、PCR 法等。研究报道，表皮生长因子（EGF）能够降低弯曲菌移位和向肝脏和脾脏系统性扩散的可能性，阻止弯曲菌诱导的紧密连接蛋白中断和功能紧密连接异常[34]。

2.3　肠道免疫

肠道是机体最大的免疫器官，肠道黏膜免疫系统主要包括肠相关淋巴组织和弥散免疫细胞。肠道免疫功能评价主要通过测定肠道免疫细胞、免疫球蛋白、细胞因子、溶菌酶等免疫相关物质的含量，来反映肠道的免疫状态。肠道免疫细胞评价指标主要包括肠道 IEL 和 sIgA 细胞数量和分布以及 T 淋巴细胞亚群的检测（采用流式细胞仪检测外周血液中 $CD3^+$、$CD4^+$、$CD8^+$的百分率）。sIgA 是肠道黏膜主要免疫球蛋白，sIgA 释放进入肠黏膜表面，抑制病原微生物的黏附，阻挡抗原侵入机体，发挥对肠道黏膜的保护作用，通过检测肠黏膜 sIgA 含量可反映肠道免疫功能。此外，还可以测定肠黏膜白细胞介素、肿瘤坏死因子、干扰素等抗炎细胞因子和促炎细胞因子的含量以及溶菌酶活性等肠道免疫物质，间接反映肠道的免疫功能。杨小军等[35]的研究发现，饲粮中添加 100 μg/mL 谷氨酰胺能够抑制肉鸡肠道淋巴细胞增殖活性，提高肠道免疫球蛋白 A（IgA）含量。Rajput 等[36]研究报道，在饲粮中添加鲍氏酵

母菌和枯草芽孢杆菌能够显著增加空肠 IgA 阳性细胞含量，提高白细胞介素-6、肿瘤坏死因子-α、白细胞介素-10 和 sIgA 含量。

2.4　肠道菌群

家禽肠道内存在数量众多、结构复杂的微生物菌群，这些菌群是动物的天然屏障，能够刺激肠道的生长发育，激活机体的免疫系统，促进养分的消化吸收，抵御外来致病菌入侵，维持肠道微生态平衡[37-38]。肠道微生物菌群结构和多样性评价主要通过传统平板计数、实时荧光定量 PCR、变性梯度凝胶电泳(DGGE)以及宏基因组测序等方法[39-40]。倪学勤等[41]应用变性梯度凝胶电泳技术结合条带回收和克隆、测序研究了蛋鸡肠道微生物群落的结构和多样性，表明蛋鸡日龄和消化道部位都会影响蛋鸡肠道菌群结构和多样性。Danzeisen 等[42]通过宏基因组研究发现，饲粮中添加莫能霉素能够降低肉鸡回肠中氏菌属、乳酸菌属和肠球菌属数量，增加粪球菌属和硫酸盐还原菌属数量。Zhao 等[43]通过平板计数法研究表明，饲粮添加 5 g/kg 低聚果糖，显著降低了肉鸡盲肠大肠杆菌和产气荚膜梭菌数量，显著增加了乳酸菌和双歧杆菌数量。随着分子生物学技术的发展，研究肠道微生物的方法越来越多，从单纯的研究微生物群落多样性逐步过渡到功能的研究，对于家禽肠道健康意义重大。

2.5　肠道代谢产物

家禽肠道内的细菌生长、代谢产生多种代谢产物。检测和评价这些代谢产物的种类和数量，不仅能反映肠道菌群的结构变化，而且也是评价肠道健康状况的一个手段[44]。通过对家禽肠道内有益和有害代谢产物的分析，能够较为全面的评价肠道内环境。短链脂肪酸(SCFA)由肠道菌群分解碳水化合物产生，主要有乙酸、丙酸和丁酸等，能够降低肠道的 pH，并为肠道黏膜上皮细胞提供能量，改善肠道黏膜组织的局部供血，促进损伤的肠道上皮修复[18,45]。肠道内腐败物由腐败菌代谢产生，如氨、硫化物、吲哚和粪臭素等物质，通过测量这些物质含量的多少可以间接反映肠道菌群的变化。

3　肠道健康评价的其他指标

肠道指数、肠道抗菌肽、黏蛋白、肠道 pH、黏度以及消化酶活性、黏膜上皮 EGF 等指标在一定程度上也能反映肠道的健康状态。

肠道长度和重量能够反映肠道的生长发育状况，肠道的生长发育又能够反映肠道消化吸收的功能，常用肠道体重校正长度（肠道长度/体重，cm/kg）和肠道指数（肠道重量/体重，%）

衡量肠道的生长发育。刘磊等[46]研究发现，饲粮中添加 200 mg/kg 芽孢乳杆菌能够提高 21 日龄肉鸡十二指肠和空肠的体重校正长度，饲粮中添加 100 mg/kg 的芽孢乳杆菌能够提高 42 日龄肉鸡十二指肠的相对重量，表明饲粮中添加芽孢乳杆菌能够增强肉鸡肠道的生长发育。

肠道抗菌肽具有维持菌群稳定、参与免疫调节等多种生理功能，抗菌肽含量可以用来评估家禽肠道健康状态[47]。肠道黏蛋白主要被杯状细胞合成和分泌，柱状上皮细胞也表达黏蛋白，黏蛋白通过与肠道有害病原体发生特异性结合，阻碍致病菌在肠上皮细胞的黏附和定植[48]。因此，肠道杯状细胞数目以及黏蛋白-2(*MUC*2)等表达量能够在一定程度上反映肠道健康状况[49]。

肉鸡肠道环境 pH 与肠道功能密切相关，是动物消化道内环境的重要指标，适宜的酸性环境是维持胃肠系统正常功能、保证饲料养分被充分消化吸收、调节肠道菌群生态平衡的必要条件[50]。适宜的 pH 能够改善肠道微生态环境，发挥消化酶最大的活性，使营养物质得到充分的消化[51]。Moreno 等[52]研究报道，饲粮中添加 5%甜菜渣和燕麦壳纤维显著增加了肌胃的相对重量及肌胃内容物的重量，降低食糜的 pH。食糜黏度也影响肠道健康，高黏性的肠道内容物降低了消化酶活性和养分转化率，延长了食糜在肠道中的残留时间，更利于细菌等微生物的增殖[53]。小肠上皮细胞酶的活性是衡量肠道功能成熟的重要标志，如蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白酶、二糖酶等活性。Malayoğlu 等[54]研究发现，饲粮中添加精油可以提高小肠糜蛋白酶活性。饲粮补充 0.5 mg/kg EGF 可增加胃蛋白酶活性，补充 0.5 mg/kg EGF 显著增加空肠中碱性磷酸酶和乳糖酶活性[55]。

4 小 结

肠道是家禽最重要的消化、吸收器官，也是机体最大的免疫器官。肠道健康是家禽健康养殖发展的重要保障。但是在生产实践中，环境、营养等多种因素均会影响肠道黏膜屏障。以环境或营养对家禽肠道屏障功能的影响为出发点，研究肠道屏障功能作用机制，研发安全、高效的肠道功能改善添加剂，对于健康养殖的发展意义重大。随着多组学和高通量测序技术的发展，深入了解肠道作用机制，筛选肠道敏感生物指标，建立有效的肠道功能评价标准和评价体系，进而为畜禽肠道疾病的预防和治疗提供全新的方法。

参考文献：

[1] BAUMGART D C,DIGNASS A U.Intestinal barrier function[J].Current Opinion in Clinical

Nutrition and Metabolic Care,2002,5(6):685–694.

[2] ZIEGLER T R,EVANS M E,FERNÁNDEZ-ESTÍVARIZ C,et al.Trophic and cytoprotective nutrition for intestinal adaptation,mucosal repair,and barrier function[J].Annual Review of Nutrition,2003,23(1):229–261.

[3] 呙于明,刘丹,张炳坤.家禽肠道屏障功能及其营养调控[J].动物营养学报,2014,26(10):3091–3100.

[4] 代雪立,肖敏华,宋晓琳,等.热应激对家禽肠道结构与功能影响的研究进展[J].中国家禽,2010,32(11):41–43.

[5] QUINTEIRO-FILHO W M,GOMES A V S,PINHEIRO M L,et al.Heat stress impairs performance and induces intestinal inflammation in broiler chickens infected with *Salmonella* Enteritidis[J].Avian Pathology,2012,41(5):421–427.

[6] YEGANI M,KORVER D R.Factors affecting intestinal health in poultry[J].Poultry Science,2008,87(10):2052–2063.

[7] DE MEDINA F S,ROMERO-CALVO I,MASCARAQUE C,et al.Intestinal inflammation and mucosal barrier function[J].Inflammatory Bowel Diseases,2014,20(12):2394–2404.

[8] GROSCHWITZ K R,HOGAN S P.Intestinal barrier function:molecular regulation and disease pathogenesis[J].Journal of Allergy and Clinical Immunology,2009,124(1):3–20.

[9] VICENTE Y,DA ROCHA C,YU J K,et al.Architecture and function of the gastroesophageal barrier in the piglet[J].Digestive Diseases and Sciences,2001,46(9):1899–1908.

[10] SANZ Y,DE PALMA G.Gut microbiota and probiotics in modulation of epithelium and gut-associated lymphoid tissue function[J].International Reviews of Immunology,2009,28(6):397–413.

[11] GONZÁLEZ-MARISCAL L,TAPIA R,CHAMORRO D.Crosstalk of tight junction components with signaling pathways[J].Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Biomembranes,2008,1778(3):729–756.

[12] PEREZ-MORENO M,FUCHS E.Catenins:keeping cells from getting their signals crossed[J].Developmental Cell,2006,11(5):601–612.

[13] 于晓明,金宏,糜漫天.肠屏障功能的损伤与营养素防护[J].解放军预防医学杂志,2006,24(1):68–70.

[14] NEISH A S.Microbes in gastrointestinal health and disease[J].Gastroenterology,2009,136(1):65–80.

[15] MAYNARD C L,ELSON C O,HATTON R D,et al.Reciprocal interactions of the intestinal microbiota and immune system[J].Nature,2012,489(7415):231–241.

[16] NAGURA H,SUMI Y.Immunological functions of the gut role of the mucosal immune system[J].Toxicologic Pathology,1988,16(2):154–164.

[17] 王喆,邱泽武.肠屏障功能及检测方法研究进展[C]//中华医学会急诊医学分会第十三次全国复苏与中毒学术论文交流会论文集.武汉:中华医学会,2009:160–164.

[18] 牛海静,王邦茂.肠粘膜屏障与功能[J].解剖与临床,2007,12(2):138–140.

[19] 武金宝,王继德,张亚历.肠黏膜屏障研究进展[J].世界华人消化杂志,2003,11(5):619–623.

[20] 胡红莲,高民.肠道屏障功能及其评价指标的研究进展[J].中国畜牧志,2012,48(17):78–82.

[21] 宁章勇,刘思当,赵德明,等.热应激对肉仔鸡呼吸、消化和内分泌器官的形态和超微结构的影响[J].畜牧兽医学报,2003,34(6):558–561.

[22] 李玉龙,杨欣,杨小军.家禽肠道健康营养调控研究进展[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十届全国代表大会暨十二届学术研讨会.武汉:中国畜牧兽医学会动物营养学分会,2016:100–108.

[23] GOTTARDO E T,PROKOSKI K,HORN D,et al.Regeneration of the intestinal mucosa in *Eimeria* and *E. coli* challenged broilers supplemented with amino acids[J].Poultry Science,2016,95(5):1056–1065.

[24] SAMANYA M,YAMAUCHI K E.Histological alterations of intestinal villi in chickens fed dried *Bacillus subtilis* var.*natto*[J].Comparative Biochemistry and Physiology.Part A,Molecular and Integrative Physiology,2002,133(1):95–104.

[25] CHOI S C,INGALE S L,KIM J S,et al.An antimicrobial peptide-A3:Effects on growth performance,nutrient retention,intestinal and faecal microflora and intestinal morphology of broilers[J].British Poultry Science,2013,54(6):738–746.

[26] LUNN P G,NORTHROP-CLEWES C A,DOWNES R M.Intestinal permeability,mucosal injury,and growth faltering in Gambian infants[J].The Lancet,1991,338(8772):907–910.

[27] SHEN L,WEBER C R,RALEIGH D R,et al.Tight junction pore and leak pathways:a dynamic duo[J].Annual Review of Physiology,2011,73:283–309.

[28] 孙志洪,贺志雄,张庆丽,等.尤斯灌流系统在动物胃肠道屏障及营养物质转运中的应用[J].动物营养学报,2010,22(3):511–518.

[29] ALBIN D M,WUBBEN J E,ROWLETT J M,et al.Changes in small intestinal nutrient transport and barrier function after lipopolysaccharide exposure in two pig breeds[J].Journal of Animal Science,2007,85(10):2517–2523.

[30] 庞敏,卢庆萍,朱丽媛,等.益生菌抵御大鼠急性腹泻的效果及其对肠道黏膜屏障的影响[J].动物营养学报,2016,28(5):1462–1470.

[31] WU B Y,CUI H M,PENG X,et al.Analysis of the Toll-like receptor 2-2 (*TLR*2-2) and *TLR*4 mRNA expression in the intestinal mucosal immunity of broilers fed on diets supplemented with nickel chloride[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2014,11(1):657–670.

[32] ZHANG B K,SHAO Y X,LIU D,et al.Zinc prevents *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium*-induced loss of intestinal mucosal barrier function in broiler chickens[J].Avian Pathology,2012,41(4):361–367.

[33] MAGNOTTI L J,DEITCH E A.Burns,bacterial translocation,gut barrier function,and failure[J].Journal of Burn Care and Research,2005,26(5):383–391.

[34] LAMB-ROSTESKI J M,KALISCHUK L D,INGLIS G D,et al.Epidermal growth factor inhibits *Campylobacter jejuni*-induced claudin-4 disruption,loss of epithelial barrier function,and *Escherichia coli* translocation[J].Infection and Immunity,2008,76(8):3390–3398.

[35] 杨小军,高泽,刘凯,等.谷氨酰胺对肉仔鸡肠道黏膜淋巴细胞增殖活性、氧化应激和免疫应激的调控作用[J].动物营养学报,2011,23(2):274–279.

[36] RAJPUT I R,LI L Y,XIN X,et al.Effect of *Saccharomyces boulardii* and *Bacillus subtilis* B10

on intestinal ultrastructure modulation and mucosal immunity development mechanism in broiler chickens[J].Poultry Science,2013,92(4):956–965.

[37] 雷春龙,董国忠.肠道菌群对动物肠黏膜免疫的调控作用[J].动物营养学报,2012,24(3):416–422.

[38] APAJALAHTI J.Comparative gut microflora,metabolic challenges,and potential opportunities[J].The Journal of Applied Poultry Research,2005,14(2):444–453.

[39] 许波,杨富亚,慕跃林,等.胃肠道微生物及其分子生态学技术研究进展[J].微生物学通报,2014,41(1):136–145.

[40] GONG J ,YANG C B.Advances in the methods for studying gut microbiota and their relevance to the research of dietary fiber functions[J].Food Research International,2012,48(2):916–929.

[41] 倪学勤,GONG J,YU H,等.采用PCR-DGGE技术分析蛋鸡肠道细菌种群结构及多样性[J].畜牧兽医学报,2008,39(7):955–961.

[42] DANZEISEN J L,KIM H B,ISAACSON R E,et al.Modulations of the chicken cecal microbiome and metagenome in response to anticoccidial and growth promoter treatment[J].PLoS One,2011,6(11):e27949.

[43] ZHAO P Y,WANG J P,KIM I H.Effect of dietary levan fructan supplementation on growth performance,meat quality,relative organ weight,cecal microflora,and excreta noxious gas emission in broilers[J].Journal of Animal Science,2013,91(11):5287–5293.

[44] 吴英韬,袁杰利.肠道微生态评价研究进展[J].肠外与肠内营养,2013,20(3):169–173.

[45] SUZUKI T,YOSHIDA S,HARA H.Physiological concentrations of short-chain fatty acids immediately suppress colonic epithelial permeability[J].The British Journal of Nutrition,2008,100(2):297–305.

[46] 刘磊,朱立贤.芽孢乳杆菌对肉仔鸡生产性能、肠道发育和微生物菌群的影响[J].动物营养学报,2011,23(12):2136–2142.

[47] 刘伟,皮雄娥,王欣.抗菌肽与肠道健康研究新进展[J].微生物学报,2016,56(10):1537–1543.

[48] ROBBE C,CAPON C,CODDEVILLE B,et al.Structural diversity and specific distribution of

O-glycans in normal human mucins along the intestinal tract[J].Biochemical Journal,2004,384(2):307–316.

[49] LINDEN S K,SUTTON P,KARLSSON N G,et al.Mucins in the mucosal barrier to infection[J].Mucosal Immunology,2008,1(3):183–197.

[50] 林刚,王薇薇,武振龙,等.猪肠道屏障功能的营养调控[C]//动物营养研究进展.北京：中国畜牧兽医学会动物营养学分会,2012:23–34.

[51] 魏建东.天然植物提取物对肉鸡生产性能、代谢性能和肠道健康影响的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2012.

[52] MORENO E J,ROMERO C,BERROCOSO J D,et al.Effects of the inclusion of oat hulls or sugar beet pulp in the diet on gizzard characteristics,apparent ileal digestibility of nutrients,and microbial count in the ceca in 36 day old broilers reared on floor[J].Poultry Science,2011(E-Suppl.1):153.

[53] 徐运杰.影响家禽肠道健康的因素[J].饲料博览,2009(11):12–15.

[54] MALAYOĞLU H B,BAYSAL Ş,MISIRLIOĞLU Z,et al.Effects of oregano essential oil with or without feed enzymes on growth performance,digestive enzyme,nutrient digestibility,lipid metabolism and immune response of broilers fed on wheat–soybean meal diets[J].British Poultry Science,2010,51(1):67–80.

[55] LEE D N,CHUANG Y S,CHIOU H Y,et al.Oral administration recombinant porcine epidermal growth factor enhances the jejunal digestive enzyme genes expression and activity of early - weaned piglets[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2008,92(4):463–470.

Research Progress on Evaluation Indicators of Intestinal Health in Poultry

SUN Yongbo WANG Ya SA Renna* ZHANG Hongfu

(*State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing* 100193, *China*)

*Corresponding author, professor, E-mail: sa6289@126.com (责任编辑 武海龙)

Abstract: The intestine is an important organ for digestion and absorption of nutrients, and is also an important defense barrier of animals. The barriers are combined together to prevent the invasion of harmful substances such as pathogens and protect the intestinal health of animals. Temperature, ammonia and other environmental factors in poultry house and dietary nutrients levels could affect the intestinal health. Therefore, it is necessary to understand and protect the intestinal health of poultry. This article mainly summarized and analyzed the indicators of intestinal health to provide a theoretical basis for the further study of intestinal health and prevention of intestinal diseases, and promoting health growth of poultry.

Key words: poultry; intestinal; evaluation indicators